

Combination Study on Solving Traveling Salesman Problems by Ant Genetic Colony Hybrid Algorithm

WANG Chun-xiang, GUO Xiao-ni

Institute of Mechanical Engineering Inner Mongolia University of Science & Technology Baotou, Inner Mongolia 014010

ringil@163.com

Abstract: In order to get more than a single genetic algorithm and the ant colony algorithm better performance, increase the merits each other and avoid defect, studied genetic ant colony hybrid algorithm of solving Traveling Salesman Problems (TSP). Hybrid algorithm adopts first genetic later ant colony. According to the key link of the ideas realization (a method that genetic solution converts information pheromone to distribute), a new strategy of GSA are proposed. This strategy bases transformation of pheromone value on the new matrix which is formed by the combination of a former 90% of individual from genetic solution and 10% of individual by random generation. Based on genetic algorithm discussed the problem of the best combination of genetic operators. The proposed algorithm was verified by several public data in TSPLIB library. The results show that the best combination of genetic operators of improve which the precision of genetic algorithm are combination of PMX crossover and mutation; Hybrid algorithm which Using the best combination operator and GSA strategy is available on the win-win solution and speed and has good convergence.

Keywords: genetic algorithms, Ant colony algorithm; Hybrid algorithm; Operator combination; conversion

求解 TSP 问题的遗传蚁群混合算法的融合研究

王春香, 郭晓妮

内蒙古科技大学机械工程学院, 内蒙古 包头 014010

ringil@163.com

【摘要】为了获得比单一遗传算法和蚁群算法更好的优化性能,使二者能够优势互补,避免各自的缺陷,研究了求解 TSP 问题的遗传蚁群混合算法。混合算法采用先遗传后蚁群的融合思想,针对该思想实现的关键环节——遗传解转换为信息素值的方法,提出了一种“GSA”转化策略。该策略以在遗传解 endpop 中选取前 90% 个个体和再随机产生的 10% 个个体合并后组成的新矩阵作为信息素值的转化依据;同时探讨了遗传算法中遗传算子的最佳组合问题。对 TSPLIB 库中的几个公共实例所进行的仿真实验结果表明:提高遗传算法中求解精度的最佳组合算子为 PMX 交叉和 IVM 变异组合;采用最佳组合算子及“GSA”策略后的混合算法可获得求解时间和求解速度上的共赢,具有很好的收敛性。

【关键词】遗传算法;蚁群算法;混合算法;算子组合;转化

0 引言

作为一类新的仿生全局搜索方法,遗传算法和蚁群算法都具有广泛的通用性,并在实际应用中取得了成功,但二者有各自的优缺点。遗传算法具有快速全局搜索能力,但没有利用系统中的反馈信息,往往导致无为的冗余迭代,后期求解效率低。蚁群算法是通过信息素的累积和更新而收敛于最优路径,具有分布、并行、全局收敛能力。但初期信息素匮乏、导致算法速度慢。为了克服遗传算法和蚁群算法在求解优化问题时各自的缺陷,最早由 Abbattista 等人^[1]提出了遗传算法和蚁群算法融合的思想,随后孙力娟^[2]、丁建立^[3]、邵晓巍等^[4]将其应用于组合优化领域,取得了很好的效果。目前,遗传算法和蚁群算法融合的方式

有很多种,大致有:将蚁群算法融入到遗传算法的交叉或者变异操作过程中;将启发式遗传信息加入到蚁群算法中;前期采用遗传算法后期采用蚁群算法;前期采用蚁群算法后期采用遗传算法。为了能够充分利用两种算法的优点来求解优化问题,本文采用前期利用遗传算法产生初始信息素分布,后期进行蚁群算法的融合思想。实现这种融合思想的关键点是如何将遗传算法产生的最优解转化为蚁群算法的初始信息素,文献^[5]选取遗传算法终止时种群中适应值最好的前 10% 个体作为遗传优化解集合,但选取个体比例太少没有充分利用遗传解的信息。文献^[6]将遗传解转化为对称的初始信息素矩阵即 $\tau_{ij} = \tau_{ji}$,但实际在遗传解信息素转化的过程中 τ_{ij} 并不等于 τ_{ji} 。为了充分利用

遗传解信息, 实现两种算法的融合以及使融合算法具有更好的寻优能力, 本文针对 TSP 问题, 研究了遗传算法前期产生的最优解转化为后期执行蚁群算法的初始信息素值的方法以及对遗传算法产生新个体有重要影响的交叉算子和变异算子的最佳组合问题, 提出了一种可以充分利用遗传解信息的遗传解信息素转化策略——“GSA”; 得到了可以提高“GA”求解精度的一组最佳算子组合(交叉和变异)。

1 求解 TSP 问题中遗传算法的设计

遗传算法(Genetic Algorithm, 简称“GA”), 是基于生物进化的思想, 将优化计算中的迭代过程模拟成物种进化的过程, 形成一种具有“生成+检验”特征的搜索算法^[7]。它以编码空间代替问题的参数空间, 以适应度函数为评价依据, 以编码群体为进化基础, 以对群体中个体位串的遗传操作实现选择和遗传机制, 建立起一个迭代过程。

旅行商问题(Traveling Salesman Problems, 简称为 TSP), 即给定 n 个城市和每两个城市之间的距离, 寻找一条闭合的路径, 使得每个城市刚好经过一次且总的路径最短。求解 TSP 问题的遗传算法简单描述为:

(1) 编码: 求解 TSP 问题的操作过程中常用的编码方式有: 顺序表示、近邻表示、路径表示(又叫序表达)、矩阵表示和边表示等。路径表示是最自然、直观的表达方式, 因此本文采用路径表示。

(2) 初始种群: 随机产生 m 个个体, m 和问题的规模有关。这里取为 100。

(3) 适应度函数: 考虑到 TSP 问题要求经过每一个城市且只经过一次, 故适应度函数取为:

$$f(x) = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n-1} d(c_i, c_{i+1}) + d(c_n, c_1)}, \text{ 式中 } d(c_i, c_{i+1})$$

表示两城市间的距离。

(4) 选择算子: 采用基于正态分布选择和精英保留策略选择的混合选择算子。

(5) 交叉算子和变异算子:

a) 交叉算子

交叉算子是模仿自然界有性繁殖的基因重组过程, 其作用在于将原有的优良基因遗传到下一代种群

中, 生成新个体。保证了种群的多样性, 是产生新个体的主要手段和基本操作的核心。解 TSP 问题的交叉算子依赖于编码表示方式, 不同的编码方式对应不同的交叉算子, 针对顺序表示的交叉算子, 针对近邻表示的交叉算子, 针对路径表示的交叉算子, 针对矩阵表示的交叉算子。本文采用针对路径表示的交叉算子, 下面介绍三种这样的交叉算子:

1. 部分映射交叉(Partially - mapped crossover, PMX)算子^[8], 该算子要求选两交叉点, 以便确定一个匹配段, 根据两个父个体中两个交叉点之间的中间段给出的映射关系生成两个子个体。

2. 顺序交叉(Ordered Crossover, OX)算子^[9], 它能保留排列并融合不同排列的有序结构单元。两个父个体交叉时, 通过选择父个体 1 的一部分, 保存父个体 2 中城市码的相对顺序生成子个体。

3. 循环交叉(Cycle Crossover, CX)算子^[10], 它将另一父个体作为参照以对当前父个体中的城市进行重组, 先与另一染色体实现一个循环链, 并将对应的城市填入相应的位置。循环组成后, 再将另一父体的城市填入相同的位置。该算子可以保持父体串中城市的绝对位置。

b) 变异算子

变异操作模拟自然界生物进化染色体上某位置基因发生的突变现象, 从而改变染色体的结构和物理性状, 是产生新个体的辅助方法, 但也是必不可少的一个步骤。

1. 移位变异^[11] (Displacement Mutation, DM)是指随机选取一段路径, 然后将该段路径插入到任意点之后。

2. 交换变异^[12] (Exchange Mutation, EM)是指随机选取环路中的任意两点, 然后行交换。例如 1-2-3-4-5-6-7 选取 3、6 进行交换结果为 1-2-6-4-5-3-7。

3. 逆转变异^[13] (Inversion Mutation, IVM)是指随机选取环路中的两个点, 将其间的城市顺序颠倒。例如 1-2-3-4-5-6-7-8-9, 选取的两点为 2, 5, 则经逆转后, 结果为 1-5-4-3-2-6-7-8-9。

在遗传算法的运行过程中, 交叉算子和变异算子是相互配合, 共同完成搜索的, 不同的组合方式对算法性能的影响也是不同的, 为了使算法能够以良好的搜索性能完成寻优过程, 下面通过 TSP 实例的仿真实验来找出的一组最优的组合方式。

以 bays29、att48、st70 为例，初始参数设定为：种群规模 $M=100$ ，交叉概率 $P_c=0.9$ ，变异概率 $P_m=0.1$ ，种群进化代数 $G=600$ 。为了防止偶然性的干扰，对各个交叉算子与变异算子组合进行 5 次独立重复实验，结果取 5 次独立重复实验的平均值。
算例仿真一：选用 bays29 进行试验仿真

Table 1 bays29 crossover operator and mutation operator combined test

表 1 bays29 交叉算子和变异算子组合测试

交叉算子	变异算子		
	DM	EM	IVM
PMX	9737.033	14198.33	9302.812
OX	9768.037	15716.57	9303.754
CX	9772.042	15618.56	9614.952

算例仿真二：选用 att48 进行试验仿真

Table 2 att48 crossover operator and mutation operator combined test

表 2 att48 交叉算子和变异算子组合测试

交叉算子	变异算子		
	DM	EM	IVM
PMX	38966.8	78751.96	35094.84
OX	39609.91	86556.66	35423.17
CX	38594.01	90036.07	35327.38

算例仿真三：选用 st70 进行试验仿真

Table 3 st70 crossover operator and mutation operator combined test

表 3 st70 交叉算子和变异算子组合测试

交叉算子	变异算子		
	DM	EM	IVM
PMX	996.1925	2256.683	737.2345
OX	907.6783	2294.859	738.0932
CX	945.3957	2415.008	752.6971

从以上实验可以看出，对 TSP 问题总体来说 PMX 交叉和 IVM 变异的搭配要优于其他搭配，能够以良好

的搜索性能完成最优化问题的寻优过程。因此本文采用 PMX 交叉和 IVM 变异。

(6) 算法终止的条件：采用最大进化代数规则。取最大进化代数为 800，当达到此值时就停止运算

2. 求解 TSP 问题中蚁群算法的设计

蚁群算法(Ant Colony Algorithm, ACA), 是一种模拟昆虫王国中蚂蚁群体觅食行为的仿生优化算法。它主要通过蚂蚁群体之间释放一种特殊的分泌物——信息素(随着时间的推移该物质会逐渐挥发)来传递信息从而达到寻优的目的。以 TSP 问题为例，求解 n 个城市 TSP 问题的蚁群系统模型如下：设 m 为蚂蚁数量， $\tau_{ij}(t)$ 和 $P_{ij}^k(t)$ 分别表示 t 时刻城市 i 与城市 j 连线上的信息量和蚂蚁 k 由城市 i 转移到城市 j 的概率。经过 n 次移动，每个蚂蚁均完成一次循环，所有蚂蚁走过的封闭路径中最短的一条被记录下来。其中：

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{s \in allowed_k} [\tau_{is}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{is}(t)]^\beta}, & \text{若 } j \in allowed_k \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

式中， α 为信息启发式因子，表示第 k 只蚂蚁在运动过程中所积累的信息，反应轨迹的相对重要性； β 为期望启发式因子，表示蚂蚁在运动过程中启发信息在蚂蚁选择路径中的受重视程度； $\eta_{ij}(t)$ 为启发函数表示由城市 i 转移到城市 j 的期望程度，表达

式为 $\eta_{ij}(t) = \frac{1}{d_{ij}}$ ， d_{ij} 表示相邻两个城市之间的距离。 $allowed_k = \{C - tabu_k\}$ 表示蚂蚁 k 下一步允许选择的

城市； $tabu_k$ ($k = 1, 2, \dots, m$) 用以记录蚂蚁 k 目前所走过的城市。该禁忌列表随时间作动态调整。此外，各城市之间的路径上的信息量可按下式更新： $\tau_{ij}(t+n) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t)$$

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{L_k}, & \text{若第 } k \text{ 只蚂蚁在本次循环中经过 } (i, j) \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

3.2 仿真实验

为评价经过 GSA 转化后混合算法的性能，以 TSPLIB 库中的 bays29、att48、berlin52、st70 为例，单一遗传算法参数设置为：种群规模 $M=100$ ，交叉概率 $P_c=0.9$ ，变异概率 $P_m=0.1$ ，种群进化代数 $G=800$ ；单一蚁群算法参数设置为： $\alpha=1$ ， $\beta=5$ ， $\rho=0.7$ ， $Q=100$ ；遗传蚁群混合算法参数设置为：种群规模 $M=100$ ，交叉概率 $P_c=0.9$ ，变异概率 $P_m=0.1$ ，种群进化代数 $G=800$ ， $\alpha=1$ ， $\beta=5$ ， $\rho=0.7$ ， $Q=100$ 。

Table 4 Three different TSP problem algorithm for comparison of results

表 4 三种算法求解不同 TSP 问题的结果比较

TSP 问题	遗传算法		蚁群算法		遗传蚁群混合算法	
	路径长度	运行时间	路径长度	运行时间	路径长度	运行时间
bays29	9216.35	22.34	2038	57.81	2028	56.12
att48	35146.91	23.62	34212.48	169.59	34085.68	160.20
berlin52	7928.05	40.12	7663.58	513.06	7601.13	458.82
st70	726.84	30.01	741.93	381.56	715.7125	374.26

结论：

(1) 从表 4 可以看出，采用 PMX 交叉和 IVM 变异组合及 GSA 转化策略融合后的遗传蚁群算法比相同条件下的单一遗传算法和蚁群算法在求解精度和速度上有明显的提高，体现了遗传蚁群混合算法的优越性。

(2) 从图 1 可以看出，以 att48 为例子，遗传蚁群混合算法能够找到最优路径，且具有很好的收敛性。

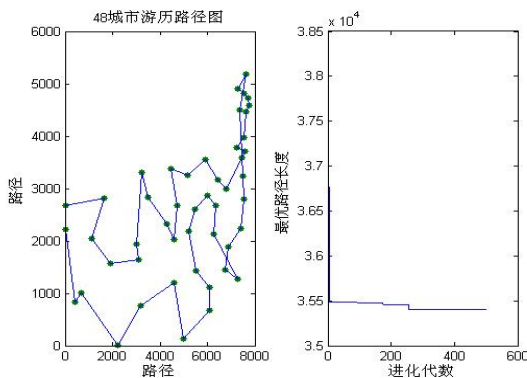


Figure 1 Hybrid ant colony algorithm att48 road map and the convergence curve

图 1 遗传蚁群混合算法求解 att48 路径图和收敛曲线图

4 结束语

本文针对 TSP 问题研究了遗传算法中常用的几种交叉算子和变异算子的匹配问题以及遗传算法和蚁群算法的融合方法。在遗传操作过程中通过对三种不同交叉算子和三种不同变异算子的匹配实验得出了最佳的组合；在遗传算法与蚁群算法融合过程中，所采用的“GSA”转化策略，能够充分地利用遗传算法提供的信息，合理地实现了遗传解信息素的转化，从而使两种算法得以成功衔接。数值实验结果表明：采用 PMX 交叉和 IVM 变异算子最佳组合，提高了遗传算法的求解精度。将之应用于融合后的算法可较单一的遗传算法和蚁群算法在求解效率、求解精度得以提高。显示了融合后的新算法既能充分地利用遗传算法的快速性、随机性、全局收敛性以及蚁群算法的并行性、正反馈性、求解效率高等优势，又能有效地解决遗传算法在后期搜索效率不高以及蚁群算法初始信息素匮乏的问题，达到了获得更好优化性能的目的。

References (参考文献)

- [1] Abbattista F, Abbattista N, Caponetti L. An evolutionary and cooperative agents model for optimization. proceedings of the IEEE international conference on Ebolutionary Computation, 1995, 2: 668~671
- [2] Sun Lijuan, Wang Liangjun, WANG Ru-chuan. Improved ant colony algorithm and its application in the TSP in [J]. Communications, 2004, 25 (10): 111 ~ 116
孙力娟, 王良俊, 王汝传. 改进的蚁群算法及其在 TSP 中的应用研究[J]. 通信学报, 2004, 25(10): 111~116
- [3] Ding Jianli, CHEN Zeng-qiang, YUAN Zhu-Zhi. Genetic Algorithm and Ant Algorithm fusion [J]. Computer Research and Development, 2003, 40 (9): 1351 ~ 1356
丁建立, 陈增强, 袁著祉. 遗传算法与蚂蚁算法的融合[J]. 计算机研究与发展, 2003, 40(9): 1351~1356
- [4] Shao Xiaowei, Shao Changsheng, Zhao Changan. The amount of information retained by Ant Colony Genetic Algorithm [J]. Control and Decision, 2004, 19 (10): 1187 ~ 1189, 1193
邵晓巍, 邵长胜, 赵长安. 利用信息量留存的蚁群遗传算法[J]. 控制与决策, 2004, 19(10): 1187~1189, 1193
- [5] Li Jing-hua, ant colony algorithm for multi-project integration capacity balance [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, 16 (3) : 643-649
李敬花. 遗传蚁群融合算法求解多项目资源能力平衡问题[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(3): 643-649
- [6] Military confrontation ant colony algorithm with genetic algorithm to improve the performance of [D], Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2007
武交锋. 应用遗传算法提高蚁群算法性能的研究[D], 太原: 太原理工大学, 2007
- [7] Xuan guang-nan, Chengrun Wei. Genetic Algorithms and Engineering Design [M]. Beijing: Science Press, 2000: 5-6

- 玄光男 程润伟. 遗传算法与工程设计[M].北京:科学出版社, 2000:5-6
- [8] Goldberg.D.E , Lingle.R.Jr.Allele,Loci,and The Traveling Salesman Problem[C].In:Proc of 1st Int Conf on Genetic Algorithms and Their Applications,Lawrence ErlbaumAssociates,1985:154~159.
- [9] Davis.L.Applying adaptive Algorithms to Epistatic Domains[C].In:Proc of 9th Int Joint Conf on Artificial Intelligence,1985:162~164.
- [10] Oliver.L, M.et.al.A study of Permutation Crossover Operators on the Traveling Salesman Problem[C].In:Proc of 3rd Int Conf on Genetic Algorithms,Lawrence Erlbaum Associates,1987:224~230.
- [11] Michalewie .GeneticAlgorithms+DataStructures=EvolutionPrograms. New York:Springer- Verlag, 1994.
- [12] BanzhafW.Themoleculartravelingsalesman.BiologicalCybernetics , 1990(64):7-14.
- [13] Fogel, D. B. Aparallel proecessing appraoacht. amultiple traveling Sales man proble musing evolution ary Programming, Proceeding soft the Four thanual Sym Posiumon Parallel Proecessing, California, 1990:318-326.